

Emisi NITRO Oksida (N₂O) pada Sistem Pengelolaan Tanaman di Lahan Sawah Tadah Hujan

Nitrous Oxide Emission on Cropland Management System in Rainfed Rice Field

M. ARIANI¹, R. KARTIKAWATI¹, DAN P. SETYANTO²

ABSTRAK

Pemberian bahan pembenah organik pada tanaman budidaya diduga memacu peningkatan aktivitas mikroba denitrifikasi dan emisi N₂O. Emisi N₂O alami dapat meningkat akibat aktivitas pertanian. Kegiatan tersebut secara langsung menambah pasokan nitrogen ke dalam tanah yang dapat dikonversi menjadi N₂O. Rata-rata 1,25% N yang ditambahkan ke dalam tanah sebagai pupuk atau limbah organik ditransformasi menjadi N₂O. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji emisi gas nitro oksida (N₂O) pada sawah tadah hujan dengan berbagai cara pengelolaan tanaman. Penelitian dilaksanakan di Kebun Percobaan Balai Penelitian Lingkungan Pertanian pada MH 2009. Percobaan disusun menurut Rancangan Acak Kelompok 3 ulangan dengan 6 perlakuan. (1) Non-pengelolaan tanaman terpadu (PTT)/kontrol ; dengan pengairan berlanjut; pupuk sesuai anjuran (120 kg/ha N, 90 kg/ha P dan 90 kg/ha K); tanpa bahan organik; irigasi terus-menerus (*continuously flooded*), bibit umur 25 hss dan jarak tanam 20 cm x 20 cm. (2) Non-PTT/kontrol 2; sama dengan perlakuan 1 tapi menggunakan pengairan berselang; (3) PTT dengan pengairan berlanjut, bibit muda (15 hss) satu bibit per lubang, pemupukan berdasarkan bagan warna daun (BWD), bahan organik setara 2 ton/ha, irigasi terus-menerus (*continuously flooded*) dan cara tanam sistem *legowo* 2:1 (20-10 cm) x 40 cm. (4) PTT sama dengan perlakuan 3 namun menggunakan pengairan berselang (5) SRI dengan pengairan berselang; pupuk organik 15 ton/ha, bibit 15 hss, tanpa pemupukan anorganik dan jarak tanam 30 cm x 30 cm; (6) Semi-SRI, sama dengan perlakuan 5 tetapi tetap diberikan pupuk anorganik dengan takaran setengah dari cara petani dengan sistem pengairan berselang. Hasil Penelitian menunjukkan total emisi N₂O tertinggi dihasilkan oleh perlakuan Non PTT tergenang sebesar 0,23 kg ha⁻¹ musim⁻¹ disusul berturut-turut oleh perlakuan PTT tergenang, Non PTT intermitten, SRI intermitten, Semi SRI Intermitten dan PTT intermitten masing-masing sebesar 0,22; 0,21; 0,18; 0,13; dan 0,10 kg ha⁻¹ musim⁻¹. Hasil gabah tertinggi dihasilkan oleh perlakuan Non PTT Intermitten yaitu sebesar 7,99 t/ha, diikuti berturut-turut perlakuan PTT Intermitten, PTT tergenang, Non PTT tergenang, Semi SRI intermitten dan SRI intermitten masing-masing sebesar 7,83 ; 7,42; 7,28; 6,20 dan 4,74 t/ha.

Kata kunci : Emisi, N₂O, PTT, Intermitten, SRI

ABSTRACT

Organic material application for cultivated crops is assumed to be improving the activity of denitrification microbe and N₂O emission. Natural N₂O emission can increase due to agricultural activity. This activity directly adds the nitrogen input into soil and can be converted into N₂O form. The amount of 1,25% N applied into soil as organic manure was transformed into N₂O. This research objective is to study the emission of nitrous oxide (N₂O) from rainfed ricefield with various crop management system. This research was conducted at Indonesian Agricultural Environment Research Institute (IAERI) in RS 2009 and designed in Randomized Block Design replicated three times with six treatments, ie. (1) Non-Integrated Crop Management (Non ICM)/control ; with anorganic fertilizer as farmer's suggestion (120 kg ha⁻¹ N, 90 kg ha⁻¹ P, and 90 kg ha⁻¹ K); without organic materials; continuous irrigation (continuously flooded), seeds 25 DAS and plant distance 20 x 20 cm. : (2) Non-ICM/Control ; equal to treatment 1 but using the intermittent irrigation; (3) ICM with the continuous irrigation, young seed (15 DAS) one seed per hole, fertilization pursuant to schema of leaf colour chart (BWD), organic materials equal to 2 ton / ha, continuous irrigation (continuously flooded) and legowo planting system with legowo 2:1 (20-10 cm) x 40 cm. (4) ICM; equal to treatment 3 but using the intermittent irrigation (5) SRI with the intermittent irrigation; organic manure equal to 15 t ha⁻¹, young seed 15 DAS, without anorganic fertilization and plant distance 30 x 30 cm; (6) Semi-SRI, equal to treatment 5 but with half of farmer's dosage of anorganic fertilizer, with the intermittent irrigation. The result shows that the highest N₂O emission yielded by treatment Non ICM equal to 0.23 kg ha⁻¹ season⁻¹ followed by treatment continuously flooded ICM , Non ICM intermitten, SRI intermitten, Semi SRI Intermitten and ICM intermitten 0.22; 0.21; 0.18; 0.13; and 0.10 kg ha⁻¹ season⁻¹ respectively. While, the highest rice yield is gained from treatment Non ICM Intermitten that is equal to 7.99 t ha⁻¹, followed successively treatment of ICM Intermitten, ICM continuously flooded, Non ICM continuously flooded, Semi SRI intermitten and SRI intermitten each of 7.83; 7.42; 7.28; 6.20; and 4.74 t ha⁻¹.

Keywords : Emission, Nitrous oxide, ICM, Intermitten, SRI

1. Peneliti pada Balai Penelitian Lingkungan Pertanian, Pati.
2. Kepala Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, Bogor.

PENDAHULUAN

Kemampuan gas-gas di atmosfer untuk meneruskan radiasi gelombang pendek atau cahaya matahari, tetapi menyerap dan memantulkan radiasi gelombang panjang (infra merah) yang dipancarkan bumi disebut dengan gas rumah kaca (Murdiyarso, 2003). Energi yang dipancarkan tersebut menyebabkan pemanasan permukaan bumi. Akan tetapi apabila konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer meningkat akan terjadi pemanasan global. Berdasarkan IPCC, 2007 emisi GRK yang tinggi diperkirakan berpotensi menaikkan suhu bumi 1,31-2,32°C pada pertengahan abad 21. Emisi gas CO₂, CH₄ dan N₂O masing-masing menyumbang 55, 22 dan 6% dari total efek rumah kaca. CH₄ dan N₂O mempunyai efek pemanasan global, dimana 21 dan 310 kali lebih besar dari CO₂ (Sommer, 2006).

Bahan organik yang terdekomposisi pada kondisi anaerobik menghasilkan gas metan (CH₄), sedangkan N₂O terbentuk terutama pada proses nitrifikasi dan denitrifikasi. Konsentrasi N₂O di atmosfer meningkat dari 270 ppb pada era pra industri menjadi 319 ppb pada tahun 2005 (Hirsch et al., 2006). Gas nitro-oksida atau nitrous oxide (N₂O) merupakan salah satu gas rumah kaca yang dihasilkan oleh jasad renik dari lahan sawah, yang terdiri atas persenyawaan hara nitrogen dan oksigen. Gas tersebut dapat merugikan bagi lingkungan, karena selain sebagai salah satu penyebab pemanasan global bumi, juga dapat merusak lapisan ozon. Peningkatan aktivitas manusia dalam mengelola lahan persawahannya bisa meningkatkan kandungan nitrogen tersedia dalam tanah melalui pemupukan nitrogen (urea, ZA, dan lain-lain) dan pemberian bahan organik, namun melalui proses mikrobiologis memacu peningkatan emisi gas nitro oksida baik secara langsung maupun tidak langsung.

Pemberian bahan pembenah organik pada tanaman budidaya diduga memacu peningkatan aktivitas mikroba denitrifikasi dan emisi N₂O (Meijide et al. 2009). Emisi N₂O alami dapat meningkat akibat aktivitas pertanian. Kegiatan tersebut secara

langsung menambah pasokan nitrogen ke dalam tanah yang dapat dikonversi menjadi N₂O (USEPA 2006). Rata-rata 1,25% N yang ditambahkan ke dalam tanah sebagai pupuk atau limbah organik ditransformasi menjadi N₂O. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji emisi gas dinitrogen oksida (N₂O) pada sawah tadah hujan dengan berbagai cara pengelolaan tanaman.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di sawah tadah hujan Kebun Percobaan Balai Penelitian Lingkungan Pertanian pada MH 2009 yang mempunyai jenis tanah Aeric Eutropept. Penelitian dirancang secara acak kelompok tiga ulangan dengan perlakuan sebagai berikut:

1. Non-pengelolaan tanaman terpadu (PTT)/kontrol 1; dengan pengairan berlanjut; pupuk sesuai anjuran (120 kg ha⁻¹ N, 90 kg ha⁻¹ P, dan 90 kg ha⁻¹ K); tanpa bahan organik; irigasi terus-menerus (*continuously flooded*), bibit umur 25 HSS dan jarak tanam 20 x 20 cm.
2. Non-PTT/kontrol 2; sama dengan perlakuan 1 tapi menggunakan pengairan berselang (*intermittent irrigation*)
3. PTT dengan pengairan berlanjut, bibit muda (15 HSS) satu bibit per lubang, pemupukan berdasarkan bagan warna daun (BWD), bahan organik setara 2 t ha⁻¹, irigasi terus-menerus dan cara tanam sistem *legowo* 2:1 (20-10 cm) x 40 cm.
4. PTT sama dengan perlakuan 3 namun menggunakan pengairan berselang
5. SRI dengan pengairan berselang; pupuk organik 15 t ha⁻¹, bibit 15 HSS, tanpa pemupukan anorganik dan jarak tanam 30 x 30 cm.
6. Semi-SRI, sama dengan perlakuan 5 tetapi tetap diberikan pupuk anorganik dengan takaran setengah dari cara petani dengan sistem pengairan berselang.

Tabel 1. Hasil analisis fisiko kimia tanah awal*Table 1. Physical and chemical land characteristic before cropping*

Perlakuan	Ekstrak 1:5			Terhadap contoh kering 105 ⁰ C									
	pH		DHL	Bahan organik			Nilai Tukar Kation (NH ₄ -Acetat 1N, pH 7)						
	H ₂ O	KCl		Walkey & Black C	Kjeldahl N	C/N	Ca	Mg	K	Na	Jumlah	KTK	KB*
			dS/m	-----%			-----cmol/kg----- %						
Non PTT tergenang	5.10	4.50		0.45	0.03	15	3.26	0.55	0.08	0.24	4.13	7.01	
Non PTT intermiten	5.20	4.60		0.42	0.03	14	3.99	0.46	0.10	0.27	4.82	6.87	
PTT tergenang	5.10	4.50		0.47	0.04	12	2.46	0.27	0.08	0.18	2.99	5.10	
PTT intermitten	5.60	5.20		0.43	0.03	14	3.59	0.33	0.08	0.20	4.20	3.32	
SRI intermittent	5.70	5.30		0.41	0.03	14	3.85	0.39	0.13	0.26	4.63	4.22	
Semi-SRI intermittent	6.20	5.70		0.30	0.03	10	6.23	0.84	0.13	0.49	7.69	5.21	

Ukuran petak adalah 6 x 5 m (d disesuaikan dengan kondisi lahan). Untuk semua perlakuan yang menerapkan PTT, bahan organik berupa pupuk kandang kering diberikan dengan takaran 2 t ha⁻¹. Untuk semua perlakuan yang menerapkan pengairan berselang, pengeringan dilakukan dua kali yaitu selama 1 minggu sebelum pemupukan ke-2 dan 1 minggu sebelum pemupukan ke-3. Ketinggian air untuk semua perlakuan yang menerapkan pengairan berlanjut dipertahankan pada 5 cm dari awal pertumbuhan tanaman sampai 1 minggu sebelum panen. Untuk cara non-PTT memakai bibit unggul dengan usia semai 21 hari, jarak tanam 20 cm x 20 cm, pemupukan sesuai takaran rekomendasi, dan tanpa bahan organik. Perlakuan lainnya adalah sistem SRI (*System of Rice Intensification*) di mana digunakan pupuk organik dalam jumlah besar (15 t/ha), bibit unggul dengan usia semai kurang dari 15 hari, tanpa pemberian pupuk anorganik, dan jarak tanam lebar (30 x 30 cm). Bibit unggul yang ditanam adalah varietas Ciherang.

Fluks N₂O diukur setiap seminggu sekali dengan sungkup berukuran 40 x 20 x 20 cm. Sungkup tersebut diletakkan di sela-sela tanaman padi karena gas N₂O hanya dilepaskan melalui proses ebolusi dan tidak melalui perantara tanaman. Pengambilan contoh gas dilakukan pagi hari antara pukul 07.00-08.00 dengan interval waktu 10, 20, 30, dan 40 menit. Contoh gas diambil dengan jarum

suntik volume 10 ml yang dibungkus dengan kertas perak/alumunium foil. Kertas ini berfungsi mengurangi pengaruh panas radiasi matahari yang dapat mengganggu ketelitian pengukuran. Perubahan suhu dalam sungkup diukur dan ketinggian ruang udara (*headspace*) dicatat selama pengambilan contoh gas, karena akan digunakan sebagai faktor koreksi perhitungan fluks N₂O. Konsentrasi gas N₂O diukur dengan kromatografi gas (GC) produksi Shimadzu dengan model/tipe 14A yang dilengkapi detektor ECD (*electron capture detector*). Untuk menghitung emisi gas-gas tersebut digunakan rumus :

$$E = \frac{dc}{dt} \times \frac{V_{ch}}{A_{ch}} \times \frac{mW}{mV} \times \frac{273,2}{(273,2 + T)}$$

dimana :

E = Emisi gas CH₄/CO₂/N₂O (mg m⁻² hari⁻¹)

dc/dt = Perbedaan konsentrasi CH₄/CO₂/N₂O per waktu (ppm menit⁻¹)

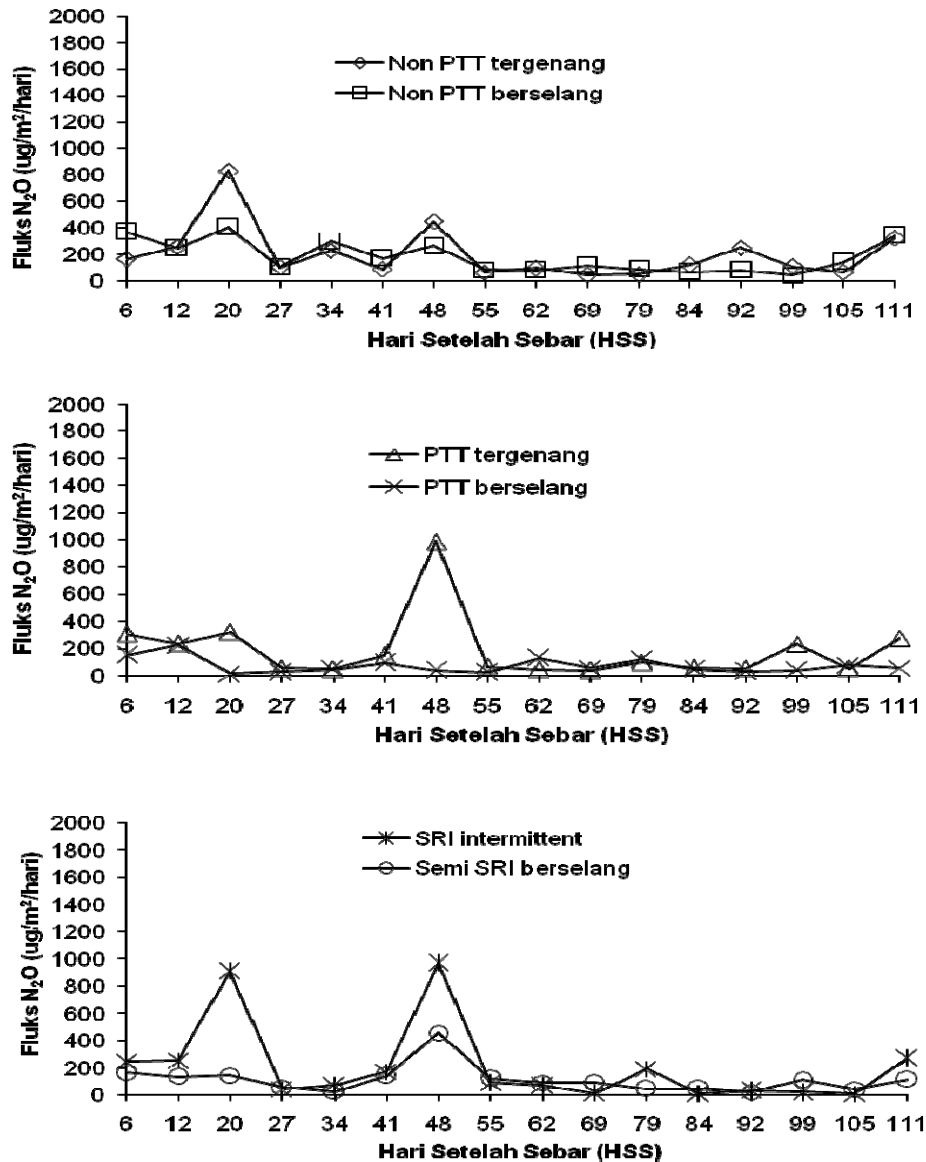
V_{ch} = Volume boks (m³)

A_{ch} = Luas boks (m²)

mW = Berat molekul CH₄/CO₂/N₂O (g)

mV = Volume molekul CH₄/CO₂/N₂O (22,41 l)

T = Temperatur rata-rata selama pengambilan contoh gas (°C)



Gambar 1. Fluks N_2O dari sawah tadah hujan dengan berbagai pengelolaan tanaman, penelitian dilaksanakan di KP Balingtan, pada MH 2009

Figure 1. N_2O emission from rainfed rice field with various cropland management, research conducted at Balingtan Research Station, RS 2009

Data emisi CH_4 dianalisis dengan menggunakan ANOVA (*Analysis of Variance*). Perbedaan dari masing-masing nilai tengah akan ditentukan dengan menggunakan uji *Duncan* pada $P \leq 0,05$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

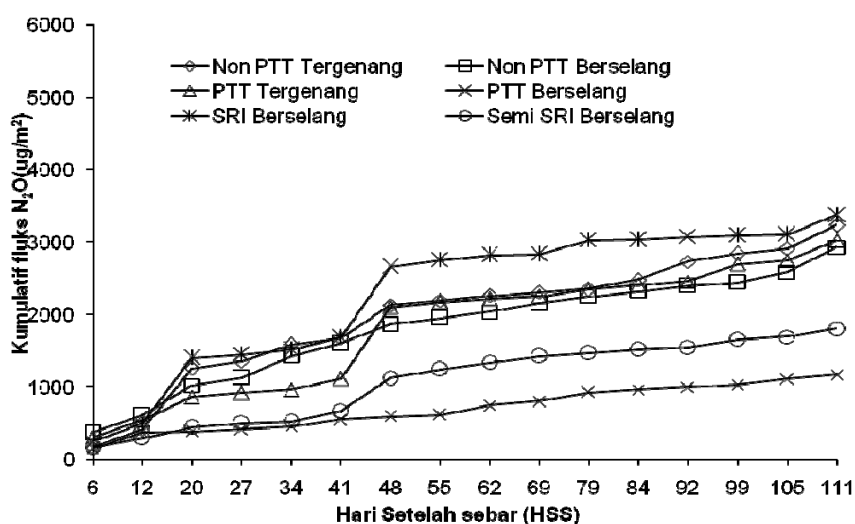
Fluks N_2O tertinggi dari sawah tadah hujan Aerik Eutropept terjadi pada saat padi berada pada fase primordia bunga pada rentang 41-55 hari setelah tanam (HST) (Gambar 1). Pada fase primordia, tanaman padi menghasilkan eksudat akar

dalam jumlah banyak. Eksudat akar mengandung asam organik dengan gugus yang mengandung amonium. Proses denitrifikasi oleh bakteri dapat menyebabkan amonium tereduksi membentuk gas N₂O. Kandungan nitrat dalam tanah dan air tanah adalah faktor penting yang mempengaruhi proses denitrifikasi dan emisi N₂O dari lahan sawah (Dobbie and Smith, 2003). Pengangkutan hasil fotosintesis dari daun ke akar lebih optimal pada primordia bunga dan sebagian besar akan diangkut ke dalam butir-butir gabah pada fase reproduktif (Yoshida, 1978). Pola fluks N₂O (Gambar 1) mengikuti pola pertumbuhan tanaman padi, meningkat di awal pertumbuhan saat fase anakan aktif hingga anakan maksimum dan mencapai puncak saat primordia bunga, menurun atau melandai saat fase reproduktif (keluar bunga hingga pemasakan) kemudian ada lonjakan lagi pada saat menjelang panen karena adanya pengaruh pengeringan.

Sawah tergenang memberikan habitat ideal bagi bakteri anaerob fakultatif seperti bakteri

denitrifikasi, sehingga dapat berfungsi baik pada kondisi dengan maupun tanpa oksigen dalam mengisi N₂O dan memfiksasi N₂ (Rao, 1994). Xiong *et al.* (2007) menyebutkan bahwa laju emisi N₂O menjadi besar pada sawah yang semula tergenang kemudian dikeringkan. Secara kumulatif, fluks tertinggi dihasilkan oleh perlakuan Non PTT tergenang dan terendah oleh perlakuan PTT berselang (Gambar 2). Perlakuan PTT berselang menghasilkan emisi N₂O rendah bisa juga disebabkan karena pemupukan anorganik yang menggunakan BWD sehingga lebih efisien.

Tanah sawah berpotensi meningkatkan emisi gas dinitrogen oksida (N₂O) bilamana jumlah N tersedia bagi transformasi mikrobial yang ditingkatkan melalui pemupukan N anorganik, penanaman leguminosa, pengembalian pupuk organik dan sisa-sisa tanaman dalam tanah, dan mineralisasi biomassa tanah dan bentuk-bentuk lain bahan organik. Hutabarat (2001) menyebutkan bahwa bervariasinya emisi N₂O disebabkan oleh



Gambar 2. Kumulatif fluks N₂O dari sawah tadah hujan dengan berbagai pengelolaan tanaman, penelitian dilaksanakan di KP Balingtan, pada MH 2009

Figure 2. N₂O cumulative fluxes from rainfed rice field with various cropland management, research conducted at Balingtan Research Station, RS 2009

banyak faktor seperti suhu, tipe tanah, tipe vegetasi, kondisi iklim dan tanah yang berbeda, lokasi, waktu pengukuran dan banyaknya teknik pengukuran emisi N_2O yang digunakan. Selain itu juga dipengaruhi oleh faktor biotik. Proses pembentukan dan emisi N_2O dipengaruhi oleh proses nitrifikasi dan denitrifikasi yaitu dengan penambahan pupuk NH_4^+ dan NO_3^- .

Hasil gabah, emisi N_2O total dan nisbah emisi gas N_2O /hasil gabah untuk tiap perlakuan seperti terlihat pada Tabel 2. Uji statistik menunjukkan bahwa hasil gabah berbeda nyata ($P=0,05$) antar teknologi pengelolaan tanaman, hasil gabah tertinggi dihasilkan oleh perlakuan Non PTT berselang yaitu sebesar $7,99 \text{ t ha}^{-1}$, diikuti berturut-turut perlakuan PTT berselang, PTT tergenang, Non PTT tergenang, Semi SRI berselang dan SRI berselang masing-masing sebesar 7,83 ; 7,42; 7,28; 6,20; dan 4,74 t ha^{-1} . Perbedaan dalam rejim air diduga sebagai penyebab lebih tingginya hasil padi. Selang waktu kering tersebut dapat mengurangi toksisitas unsur-unsur mikro tanah seperti Fe dan Al dibandingkan keadaan tergenang terus-menerus. Total emisi tertinggi dihasilkan oleh perlakuan Non PTT tergenang sebesar $0,23 \text{ kg ha}^{-1} \text{ musim}^{-1}$ diikuti berturut-turut oleh perlakuan PTT tergenang, Non PTT berselang, SRI berselang, Semi SRI berselang dan PTT berselang masing-masing sebesar 0,22;

0,21; 0,18; 0,13 dan $0,10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ musim}^{-1}$ meskipun secara statistik, hasil ini tidak berbeda nyata.

Nisbah antara emisi N_2O dan hasil padi dengan berbagai pengelolaan tanaman berkisar antara 0,01-0,04 $\text{kg N}_2\text{O (t gabah)}^{-1}$. Ini berarti bahwa dari setiap 1 ton gabah menghasilkan N_2O sebesar 0,01- 0,04 $\text{kg N}_2\text{O ha}^{-1} \text{ musim}^{-1}$. Semakin besar nisbah gas N_2O dengan hasil padi, semakin rendah tingkat keramahan terhadap lingkungan dari sistem pengelolaan tanaman. Sistem SRI berselang mempunyai nilai nisbahnya paling tinggi, hal ini karena produksi padinya yang rendah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa total emisi N_2O di sawah tadah hujan Aerik Eutropept Jakenan sangat rendah untuk semua perlakuan (Tabel 2). Hal ini diduga nitrogen di sawah tadah hujan lebih banyak ter volatilisasi atau terserap jaringan tanaman padi sehingga kemungkinan terlepas dalam bentuk gas N_2O melalui denitrifikasi ataupun nitrifikasi relative rendah. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa perbedaan rejim air ternyata tidak menghasilkan perbedaan besarnya emisi N_2O per musim di sawah tadah hujan Aerik Eutropept Jakenan.

Peningkatan ketersediaan nitrogen dalam tanah umumnya akan meningkatkan emisi gas nitro oksida, namun besarnya emisi tergantung pada interaksi antara sifat tanah, faktor iklim, dan teknik budidaya pertanian.

Tabel 2. Total emisi, hasil gabah dan rasio emisi/hasil gabah pada perlakuan pengelolaan tanaman di KP Balingtan, MH 2009

Table 2. Total emission, rice yield and emission/rice yield ratio on various cropland management at Balingtan Research Station, RS 2009

Perlakuan	Total emisi N_2O $\text{kg ha}^{-1} \text{ musim}^{-1}$	Hasil gabah t ha^{-1}	Nisbah emisi N_2O /hasil padi $\text{kg N}_2\text{O (t gabah)}^{-1}$
Non PTT tergenang	0,23a a	7,28 ab	0,03
Non PTT berselang	0,21a a	7,99 a	0,03
PTT tergenang	0,22a a	7,42 b	0,03
PTT berselang	0,10a a	7,83 a	0,01
SRI berselang	0,18a a	4,74 c	0,04
Semi SRI berselang	0,13a a	6,20 bc	0,02

KESIMPULAN

1. Emisi N₂O dari berbagai cara pengelolaan tanaman di sawah tadah hujan Aerik Eutropept Jakenan berkisar antara 0,1-0,2 kg ha⁻¹ musim⁻¹, emisi tertinggi dicapai oleh perlakuan Non PTT tergenang dan terendah oleh perlakuan PTT berselang.
2. Perlakuan penggenangan dan pengeringan untuk sawah tadah hujan Aerik Eutropept Jakenan tidak secara nyata memberikan dampak terhadap besar kecilnya emisi gas N₂O.
3. Perlakuan pengairan berselang pada sistem PTT (penggunaan bahan organik yang dikombinasikan dengan anorganik) dan Non PTT (tanpa penggunaan bahan organik) nyata menghasilkan padi lebih tinggi dibandingkan teknologi pengelolaan lahan lainnya di sawah tadah hujan Aerik Eutropept Jakenan yaitu sebesar 7,83 dan 7,99 t ha⁻¹.

DAFTAR PUSTAKA

- Bauwman, A.P. 1994.** Exchange of greenhouse gases between terrestrial ecosystem and the atmosphere. Hlm 35-39. *Dalam* Orbanus Naharia, 2002. Teknologi Pengairan dan Pengolahan tanah pada budidaya padi untuk pengurangan emisi metana dan N₂O. Disertasi Program Pasca Sarjana Institute Pertanian Bogor.
- Cicerone, R.J. 1989.** Analysis of sources and sink of atmospheric nitrous oxide. J. Geophys. Res. 94:18265-18271.
- Dobbie, K.E. and K.A. Smith. 2003.** Nitrous oxide emission factors for agricultural soils in Great Britain : The impact of soil water-filled pore space and other controlling variables. Global Change Biol. 9:204-218.
- Hutabarat, L. 2001.** Emisi Ntrous Oksida pada Berbagai Tipe Penggunaan Lahan di Kuamang Kuning Provinsi Jambi. Thesis Program Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor.
- Mosier, A.R., K.F. Bronson, J.R. Freney, and D.G. Keerthisinghe. 1994.** Use nitrification inhibitors to reduce nitrous oxide emission from urea fertilized soils. Pp. 187-196. *In* CH₄ and N₂O: Global Emissions and Controls from Rice Field and Other Agricultural and Industrial Sources. NIAES.
- Murdiyarso, D. 2003.** CDM : Mekanisme Pembangunan Bersih. Wetland International, Institut Pertanian Bogor. Hlm1-5.
- Rao, N.S.S. 1994.** Mikroorganisme Tanah dan Pertumbuhan Tanaman. UI Press, Indonesia
- USEPA. 2006.** NitrousOxide:SourcesandEmission <http://www.epa.gov/nitrousoxide/sources.html>.
- Yoshida, T. 1978.** Mikrobial metabolism in rice soil. Pp 445-463. *In* Soil and Rice. International Rice Research Institute. Los Banos, Philippines.
- Xiong, Z.Q, G.X. Xing, and Z.L. Zhu. 2007.** Nitrous Oxide and Methane Emissions as Affected by Water, Soil and Nitrogen. Pedosphere 17(2):146-155.